

**Technická univerzita v Liberci**  
Fakulta textilní

Studijní program: B3107 Textil  
Studijní obor: 3107R007 Textilní marketing

**Rozbor komfortních vlastností materiálů pro  
sportovní oděvy**

**Analysis of comfort properties of materials for  
sportswear**

**Bakalářská práce**

Autor: **Veronika Kopalová**  
Vedoucí práce: Ing. Pavla Těšinová, Ph.D.

V Liberci 1.5.2012

Rozbor komfortních vlastností materiálů pro sportovní oděvy  
Studentka: Veronika Kopalová-Hnízlová T08000385

- Proveďte teoretickou rešerši na téma komfortních vlastností textilních materiálů. Popište komfortní vlastnosti z hlediska vlivu na jeho použití v různých klimatických obdobích
- Proveďte experiment na vybraných materiálech pro sportovní oděvy. Klasifikujte hodnoty prodyšnosti, hydrostatické odolnosti a paropropustnosti
- Proveďte statistické vyhodnocení dat. Výsledky jednotlivých typů materiálů porovnejte pomocí statistické analýzy
- Diskutujte výsledky experimentu a doporučte vhodné použití testovaných materiálů v rámci teoreticky definovaného klimatického zatížení

MORTON, W.E., HEARLE, J.W.S. *Physical properties of textile fibres*. Cambridge : Woodhead Publishing in textiles, CRC Press, The Textile Institute, 2008. 776 s. ISBN 978-1-84569-220-9.

ČSN EN 20811 (800818) : *Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody*. Zkouška tlakem vody Praha : Český normalizační institut, 1994. 16s.  
Shishoo, R.: *Textiles in sport. 1.vyd.* Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. 201 s. ISBN-13: 978-1-85573-922-2.

# Prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem v práci neporušila autorská práva (ve smyslu zákona č. 121/2000 Sb. O právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

Souhlasím s umístěním bakalářské práce v Univerzitní knihovně TUL.

Byla jsem seznámena s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. o právu autorském, zejména § 60 (školní dílo).

Beru na vědomí, že TUL má právo na uzavření licenční smlouvy o užití mé bakalářské práce a prohlašuji, že souhlasím s případným užitím mé bakalářské práce (prodej, zapůjčení apod.).

Jsem si vědoma toho, že užít své bakalářské práce či poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem TUL, která má právo ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, vynaložených univerzitou na vytvoření díla (až do jejich skutečné výše).

Datum: 1.5.2012

Podpis:

# Poděkování

Touto cestou bych chtěla vyslovit poděkování mé rodině a všem ostatním, kteří mě podporovali po celou dobu mého studia. Mé poděkování také patří Ing. Pavle Těšinové, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, za podnět k zajímavému tématu, za její připomínky a trpělivost.

Veronika Kopalová

# Abstrakt

Práce pojednává o komfortních vlastnostech textilií a je zaměřena především na materiály pro sportovní oblečení. Sportovní oblečení je specifickou kategorií oblečení, již dávno není jen jednoúčelovým oděvem pro sport. Pro mnoho lidí se stalo běžným oděvem v každodenním životě. Z toho důvodu jsou na materiály pro sportovní oblečení kladeny extrémní nároky, protože musí dobře vypadat, dokonale padnout a být pohodlné i při fyzické zátěži. O tom, co si představit pod pojmem pohodlí, a jak ho klasifikovat a pomocí jakých veličin popsat případně je porovnat, pojednává tato práce. První kapitola pojednává obecně o komfortních vlastnostech oblečení a o vhodném oblékání v závislosti na klimatických podmínkách. Druhá kapitola je zaměřena na popis vybraných měřících přístrojů, které umožní komfortní vlastnosti textilií kvantifikovat. Třetí kapitola popisuje nejistoty měření, citlivosti měřících přístrojů a ukazuje postupy jakým naměřená data statisticky zpracovávat. Konečně čtvrtá kapitola je věnována vlastnímu měření vzorků a vyhodnocení jejich parametrů. Hlavní výsledky práce jsou shrnuty v závěru.

**Klíčová slova:** komfortní vlastnosti textilií, výparný odpor, vodní sloupec, propustnost vodních par, nejistoty měření

# The Abstract

This thesis deals with comfort properties of textiles and it is focused in particular to materials for sportswear. Sportswear is a special category of clothes but it has not been one-purpose clothing for a long time. Sportswear has become common clothing for many people in their common life and because of this reason there are extreme requirements of properties of materials as well as requirements of beauty, comfort and perfect fit even during physical strain. How to imagine the concept of comfort and its classification and how to describe it by using proper quantity or how to compare it - is involved. The first chapter deals with the comfort properties of clothes in general and appropriate clothing according to climatic conditions. The description of selected measure equipments which are suitable for quantification of comfort properties of textiles is depicted in the second chapter. The third chapter consists of uncertainty of measurement, sensitivity of measure apparatuses and it also shows methods of statistical processing of measured quantities. Finally the forth chapter is dedicated to real measurement of samples and its evaluation. The main results are summarized in conclusion of the thesis.

**The key words:** Comfort Textile Properties, Resistance of Evaporation of a Textile, Water Bar, Water Vapour Permeability, Mensuration Uncertainty

# Obsah

Seznam obrázků . . . . .	9
Seznam tabulek . . . . .	10
Použité značení . . . . .	11
Úvod . . . . .	12
<b>1 Rešeršní část</b>	<b>13</b>
1.1 Komfort textilií . . . . .	13
1.1.1 Psychologický . . . . .	13
1.1.2 Senzorický komfort . . . . .	14
1.1.3 Termofiziologický komfort . . . . .	14
1.1.4 Patofyziologie . . . . .	15
1.2 Zeměpisné podmínky . . . . .	16
1.2.1 Studená oblast . . . . .	16
1.2.2 Střední oblast . . . . .	17
1.2.3 Horká oblast . . . . .	17
1.2.4 Horká vlhká oblast . . . . .	18
1.3 Prodyšnost a propustnost vodních par . . . . .	18
1.4 Výška vodního sloupce . . . . .	19
1.5 Výparný odpor . . . . .	19
<b>2 Seznámení s měřicími přístroji</b>	<b>20</b>
2.1 Permetest . . . . .	20
2.2 FX 3300 . . . . .	22
2.3 Hydrostatic head tester SDL Atlas . . . . .	22
2.3.1 Měření dle ČSN EN 20811 (80 0818) . . . . .	23
<b>3 Použitý matematický aparát statistiky</b>	<b>25</b>
3.1 Statistické zpracování dat a určení nejistot měření . . . . .	25
3.2 Určení nejistot měření pro FX 3300 a Hydrostatic head tester . .	27
3.3 Určení nejistot měření pro Permetest . . . . .	28

<b>4</b>	<b>Měření vzorků a vyhodnocení naměřených hodnot</b>	<b>30</b>
4.1	Připravené vzorky . . . . .	30
4.2	Prodyšnost pro vzduch . . . . .	32
4.3	Výparný odpor a propustnost vodních par . . . . .	35
4.4	Určení propustnosti vodních par $WVP$ . . . . .	38
4.5	Hydrostatická odolnost . . . . .	41
	Závěr . . . . .	45
	Literatura . . . . .	47



# Seznam obrázků

2.1	Měřicí přístroj Permetest [13]. . . . .	21
2.2	Blokové schéma měřicího přístroje Permetest [3]. . . . .	21
2.3	Měřicí přístroj FX 3300 [11]. . . . .	22
2.4	Měřicí přístroj Hydrostatic head tester SDL Atlas [14]. . . . .	23
4.1	Vyhodnocení naměřených hodnot prodyšnosti vzduchu $v$ . . . . .	33
4.2	Prodyšnost vzduchu $v$ vzorků v závislosti na $\varrho_S$ . . . . .	33
4.3	Vyhodnocení naměřených hodnot výparného odporu $R_{et}$ . . . . .	36
4.4	Výparný odpor $R_{et}$ vzorků v závislosti na $\varrho_S$ . . . . .	36
4.5	Vyhodnocení naměřených hodnot prodyšnosti vodních par $WVP$ . . . . .	40
4.6	Prodyšnosti vodních par $WVP$ vzorků v závislosti na $\varrho_S$ . . . . .	40
4.7	Vyhodnocení naměřených hodnot výšky vodního sloupce (1. část). . . . .	42
4.8	Vyhodnocení naměřených hodnot výšky vodního sloupce (2. část). . . . .	43
4.9	Hodnoty výšky vodního sloupce v $h_{H_2O}$ vzorků závislosti na $\varrho_S$ . . . . .	43

# Seznam tabulek

1.1	Typy klimatu [3]	16
3.1	Nejistoty měření použitých přístrojů [17, 16, 15].	26
4.1	Přehled provedených měření.	31
4.2	Prodyšnost vzduchu $v$ při 100 Pa.	32
4.3	Výparný odpor $R_{et}$ .	35
4.4	Linearizované intervaly závislosti $WVP(R_{et})$ .	37
4.5	Prodyšnost vodních par $WVP$ .	39
4.6	Naměřené hodnoty vodního sloupce $h_{H_2O}$ (1. část).	41
4.7	Naměřené hodnoty vodního sloupce $h_{H_2O}$ (2. část).	41

## Použité značení

$R_{et}$	výparný odpor [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ]
$h_{\text{H}_2\text{O}}$	výška vodního sloupce [mm]
$v$	prodyšnost vzduchu [ $\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
$WVP$	propustnost vodních par [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ / 24 hod]
$\mu_u$	aritmetický průměr přesných hodnot veličiny $u$ [ $u$ ]
$\sigma_u^2$	výběrový rozptyl přesných hodnot veličiny $u$ [ $u$ ] <sup>2</sup>
$\sigma_u$	výběrová směrodatná odchylka přesných hodnot veličiny $u$ [ $u$ ]
$\Delta u$	polovina šířky intervalu spolehlivosti pro přesné hodnoty veličiny $u$ [ $u$ ]
$\delta u$	polovina šířky intervalu spolehlivosti pro naměřené hodnoty veličiny $u$ [ $u$ ]
$\varrho_S$	plošná hmotnost textilie [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ]

# Úvod

Uspěchaná doba, sedavé zaměstnání, stres v práci, vytíženost to jsou stavy lidského organismu, které vedou mnoho lidí ke sportovním aktivitám, při kterých spalují endorfiny tzv. hormony štěstí a lidé alespoň na čas zapomenou na nemilé povinnosti života. Krásná procházka po horách či jízda na kole nebo i cvičení v posilovně přispívá k pocitu štěstí. Avšak klimatické podmínky a vhodný oděv můžou tuto cestu za sportovní aktivitou znesnadnit.

V dnešní době se na trhu můžeme setkat s velkou škálou sportovního oblečení pro volný čas, vyrobených z kvalitních materiálů, které nazýváme funkční či inteligentní textilie. Bohužel široké spektrum veřejnosti má nejasné a nedokonalé představy o komfortu textilií. Jak vybrat vhodné oblečení pro daný typ sportu? Vhodné oblečení do správného typu ročního období? A jak poznat správnou kvalitu a komfort?

Tato práce se bude zabývat:

- Rozborem komfortních vlastností materiálů pro sportovní oděvy
- Popisem komfortních vlastností z hlediska vlivu na použití textilních materiálů v různých klimatických obdobích
- Statistickým zpracováním dat a určením nejistot měření pro přístroje FX3300, Hydrostatic Head Tester a Permetest
- Prováděním a vyhodnocováním experimentů na vybraných materiálech pro sportovní oděvy a následně klasifikací hodnot prodyšnosti, hydrostatické odolnosti a paropropustnosti

# Kapitola 1

## Rešeršní část

První část práce je věnována komfortním vlastnostem textilií z velice obecného úhlu pohledu, jsou zde představeny správné zásady oblékání v závislosti na klimatických podmínkách. Závěr kapitoly se věnuje vybraným komfortním vlastnostem textilií, které budou v dalších kapitolách dále zkoumány, měřeny, vyčíslovány a porovnávány.

### 1.1 Komfort textilií

V dnešní době je pro mnoho lidí důležitá kvalita versus cena. Chtějí za přijatelné peníze kvalitní oblečení, ve kterém se budou cítit dobře a pohodlně. Komfort je projev, který zahrnuje pohodlí a pohodu. Je to stav, kdy se cítíme dobře, není nám zima a současně ani příliš velké teplo. Na pokožce cítíme příjemný pocit, žádné škrábání či kousání daného materiálu ( tj. stav diskomfortu ) [3, 4].

Komfort vnímáme kromě chuti všemi lidskými smysly: zrakem, hmatem, sluchem a čichem [3, 4].

Komfort dělíme do několika odvětví [3, 4]:

- Psychologický
- Termofyziologický
- Senzorický
- Patofyziologický

#### 1.1.1 Psychologický

Psychologické odvětví komfortu zahrnuje klimatická, ekonomická, historická, kulturní, sociální, skupinová a individuální hlediska. Všechna tato hlediska bu-

dou popsána dále [3, 4].

**Klimatická hlediska** – jsou ovlivněna podnebím, ve kterém se člověk nachází. Jsou ovlivňována geograficky [3, 4].

**Ekonomická hlediska** – zahrnují schopnost získání finančních prostředků a úroveň zaměstnání jedince [3, 4].

**Historická hlediska** – ovlivňuje především módní styl dané doby, životní styl [3, 4].

**Kulturní hlediska** – mluvíme zde o náboženství, kulturním odvětví dané etnikem, tradičních hodnotách, zvycích, obřadech [3, 4].

**Sociální hlediska** – zohledňují věk, pohlaví, postavení ve společnosti, vzdělání, mentalitu, lidskou rasu [3, 4].

**Skupinová a individuální hlediska** – jsou složena z mnoha podnětů a vlastností, které se neustále mění, které můžeme ovlivnit sami nebo jsme ovlivňováni okolím. Jedná se například o módní styl, barvu, lesk, kvalitu či preference, doporučení, trendy a jiné [3, 4].

### 1.1.2 Senzorický komfort

Komfort, ve kterém se jedná především o vjemy a pocity člověka. Nejsilnějším smyslem, který zde hraje důležitou roli, je hmat, takzvaná haptická paměť. Asi nejdůležitějším okamžikem pro jedince je první kontakt pokožky se základní vrstvou oděvu. Očekává jemnost, pocit měkkosti, hebkost, splývavost. Co jistě neočekává je škrábání, kousání, vlhkost, škrcení [3, 4].

### 1.1.3 Termofiziologický komfort

Je to stav, kdy se lidský organismus nachází ve spokojeném stavu. Není mu v danou chvíli zima ani teplo. Vlhkost pokožky je perfektní a obsah oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  ve vzdušné vrstvě nad pokožkou ideální [3, 4].

Avšak tento stav uspokojení je velice náročné dosáhnout. Teplota lidské pokožky se pohybuje v rozsahu teplot  $35,8 - 37,3^\circ\text{C}$ . Tento stav lze označit za optimální, kdy všechny orgány fungují jak mají a reakce na okolní podněty jsou zcela správné. Musíme brát v potaz, že dané rozmezí teploty uvedené výše je

pro celé lidské tělo. Tepelná pohoda nastává v rozmezí  $32 - 34^{\circ}\text{C}$ . Mnoho lidí se však od tohoto obvyklého rozsahu odlišuje a to buď směrem dolů či nahoru.

Vlhkost pokožky souvisí i s teplotou lidského těla, protože každý člověk je jedinečný. Například když je  $18^{\circ}\text{C}$ , někomu může být zima a jinému zase teplo. Lidský organismus proto reguluje svou vlhkost pokožky tak, aby zabránil lidskému tělu prochladnout nebo naopak se přehřát. Když je nám teplo, nastane v organismu proces pocení, kterým se pokožka ochladí, aby nedošlo k přehřátí. Stejným způsobem to funguje i v zimě, když na sobě máme mnoho vrstev.

Posledním bodem je obsah  $\text{CO}_2$  ve vzdušné vrstvě nad pokožkou, to je stav, kdy kyslík  $\text{O}_2$  proniká do organismu, váže se na krev a dále organismus vylučuje  $\text{CO}_2$ . Tento okamžik nás zajímá, tělo je ustrojeno do oděvu a oxidu uhličitému se hůř uniká od pokožky do okolního prostředí a zachycuje se mezi tělem a oblečením. Rovnováhou mezi odvodem  $\text{CO}_2$  oblečením a jeho ulpíváním v prostoru mezi pokožkou a oblečením vzniká mikroklima. Z toho důvodu je důležité nosit prodyšné a současně vhodné oblečení v závislosti na okolních podmínkách. Hodnoty, které jsou určeny pro optimální mikroklima [3, 4] jsou :

- teplota v rozsahu  $32 - 34^{\circ}\text{C}$
- relativní vlhkost okolního vzduchu blízká 50%
- obsah  $\text{CO}_2$  cca 0,07%

Z toho důvodu je důležité již v počátku vzniku daného oblečení dbát na vhodné mikroklima, počasí, prodyšnost materiálů, vodní sloupec, výparný odpor, propustnost, paropropustnost.

#### 1.1.4 Patofyziologie

Je obor, který se zabývá vědou materiál versus organismus. Zjednodušeně lze říci, že se zkoumá složení chemikálií v materiálu s ohledem na pokožku organismu.

Lidská pokožka je velice choulostivá na chemikálie, a proto se musí při výrobě oblečení dbát na složení chemikálií, barviv a samozřejmě i tisku, které se aplikují na povrch oděvu. Velice důležité je také dbát na to, aby materiál nebyl dráždivý. Pokud by tyto normy nebyly dodrženy, mohlo by to vést k podráždění pokožky, v horším případě ke kožnímu onemocnění, k takzvané dermatóze. Dermatóza může být vyvolána například solemi, organickými rozpouštědly, změkčovadly, barvivy, pracími a dezinfekčními prostředky.

## 1.2 Zeměpisné podmínky

Je jasné, že oblečení musíme přizpůsobit aktuálním klimatickým podmínkám. Z toho důvodu, aby nám nebylo příliš teplo ani zima. Musíme se proto zamyslet také nad celkovou vhodností oblékání v závislosti na tom, v jakých zeměpisných šířkách žijeme a jaké klima je pro naši geografickou polohu typické [4]:

1. studenou oblast
2. střední oblast
3. horkou suchou oblast
4. horkou vlhkou oblast

Pro každou oblast je vždy vhodný jiný materiál i typ oblečení. Dle normy ČSN IEC 721 – 2 – 1 se světové klima rozděluje do 9 oblastí, dále pro zjednodušení lze redukovat do 4 oblastí. Oblasti a jejich charakteristiky vystihuje tabulka 1.1.

Zkratka typu klimatu	Typ klimatu dle normy	Typ klimatu po zjednodušení	Teplota [°C]	
			Nejnižší	Nejvyšší
EC	Velmi studená oblast	Studená oblast	-55	26
C	Studená oblast			
CT	Chladná oblast	Střední oblast	-29	30
WT	Mírná oblast			
Wdr	Teplá suchá oblast	Horká suchá oblast	-10	43
MWdr	Horká suchá oblast			
EWdr	Velmi horká suchá oblast			
WDa	Horká vlhká oblast	Horká vlhká oblast	-12	35
WdaE	Horká vlhká vyrovnaná oblast			

Tabulka 1.1: Typy klimatu [3]

Dle tabulky 1.1 a [3, 7] popíšeme 4 základní oblasti a vhodnost oblečení do těchto podmínek. Pro představu Česká republika leží ve střední oblasti, které odpovídá částečně chladné a z části mírné oblasti.

### 1.2.1 Studená oblast

Ve studené oblasti dosahuje nejnižší teplota až  $-55^{\circ}\text{C}$ . Musíme však brát v úvahu i sílu okolního větru, který zesiluje účinek mrazu. Nechráněná pokožka, vystavená velkému mrazu, může být velice rychle zasažena omrzlinami. Ve studené oblasti bychom měli nosit oděv, který nás dostatečně ochrání před okolními faktory. Dle výzkumů se ukázalo, že nejlepší je nosit pět vrstev oblečení z důvodu samoregulace teploty. Když je nám teplo, jednu vrstvu si můžeme sundat nebo naopak další zase přidat. Současně se mezi těmito vrstvami nachází vzduch, který přispívá k tepelné izolaci lidského těla.



První vrstvou oblečení ve studené oblasti je spodní prádlo. To by mělo mít za úkol odvádět vlhkost od těla a udržovat pokožku suchou. Nedoporučuje se používat přírodních materiálů jako je například bavlna, protože má velmi dobrou savost a pot by nasákl dovnitř a způsobil pocit chladu. Vhodnějším materiálem jsou hydrofobní syntetická vlákna např. modifikovaný polypropylen či polyester.

Další vrstvou po spodním prádle je například košile, rolák, tričko, punčochy, legíny. Tato vrstva má stejné vlastnosti i účel jako vrstva první, tj. odvádět od těla vlhkost, opět nejsou vhodné přírodní materiály.

Třetí vrstva je zateplovací, jsou jí myšleny svetry, vložky s náplní. Pro tuto vrstvu už je vhodný přírodní materiál například peří, ale může být i syntetický. Tato část oblečení má za úkol zajišťovat tepelnou izolaci.

Poslední je vrstva svrchní, má za úkol ochránit od deště, větru, sněhu a odvádět plynou vlhkost od nositele. Svrchní vrstva se užívá do extrémních podmínek. Užívají se zde tzv. textile s membránou či tkaniny s nánosem, které mají za úkol ochránit další vrstvy před zvlhnutím.

Je nutné dbát na ochranu rukou, nohou a hlavy. Pro ochranu rukou jsou vhodné rukavice, zde bychom měli myslet na metodu vrstvení, pro ruce jsou vhodné tři vrstvy. První vrstva by měla být ze směsi vlna a polyakrylnitril a další by měla být termovelurová. Kdyby v extrémních mrazech tyto dvě vrstvy nestačily, měla by nastoupit poslední a třetí vrstva. Metoda vrstvení, jak bylo již zmíněno, je vhodná, když je tepleji, neboť vrstvu lze postupně svlékat. Pro ochranu hlavy je vhodná kukla a čepice. Ochrana nohou je zajištěna díky ponožkám a botám, kde ponožky by měly být z úpletu z bavlny a polypropylenu.

### 1.2.2 Střední oblast<sup>1</sup>

Při nejnižších teplotách, které jsou uvedeny v odpovídajícím řádku v tabulce 1 je vhodná opět metoda vrstveného oblečení (je popsána v kategorii studené oblasti). Relevantní jsou všechny vrstvy kromě vrstvy do extrémních podmínek, která v této oblasti není zpravidla nutná, ale využijeme zde například bundy s membránou. V letním období je vhodné se přizpůsobit dle postupů z horké oblasti, popsané dále.

### 1.2.3 Horká oblast

Horká oblast se nachází v lokalitách, kde jsou pouště a polopouště, teplota zde dosahuje maxima 43°C a více a minima −10°C. Pro tuto oblast je však typické, že teplota se zde nemění v ročních obdobích, ale během 24 hodin. Přes den teplota dosahuje vysokých teplot, proto je vhodné na rozdíl od předchozích oblastí nosit přírodní materiály, jako je například bavlna, která pomáhá odvádět pot od těla a

---

<sup>1</sup>Jak již bylo zmíněno výše do střední oblasti patří i Česká republika

zároveň dokáže pokožku příjemně chladit. V horké oblasti je nutné dbát také na ochranu očí i pokožky před UV zářením. Z tohoto důvodu jsou vhodné sluneční brýle, vhodné jsou také materiály absorbující UV záření. Hlavu je také nutno chránit, např. šátkem, čepicí, vhodné jsou opět přírodní materiály. Při nočních teplotách dosahujících až k  $-10^{\circ}\text{C}$  je dobré používat vrstvení oblečení a při poklesu pod bod mrazu je dobrá i izolační vrstva.

#### 1.2.4 Horká vlhká oblast

Tato oblast je specifická vysokou vlhkostí, je charakteristická především pro pralesy a oblasti hustě zarostlé florou. Časté jsou zde vysoké srážky a teplo, po dopadnutí srážek se tvoří vysoká vlhkost vzduchu. Na oblečení je kladen požadavek ochránit lidskou pokožku před jedovatými živočichy a rostlinami, za tím účelem je doslova nutné mít oděvem chráněné celé tělo. Důležité je dbát na přehřátí, vrstvení se nedoporučuje, vhodné je mít na sobě jednu vrstvu s dlouhými rukávy a dlouhými nohavicemi. V uvedených podmínkách se výborně daří hnílobám, proto se moc nedoporučují přírodní materiály jako je vlna či kůže. Tyto podmínky jsou charakteristické nemožností dosažení ideálního komfortu. Důležité je, aby pokožka odváděla pot, proto se nosí v této oblasti bavlněné oblečení, které pot perfektně nasákne. Z důvodů plísní a hníloby však životnost bavlněného oblečení nemusí být vysoká.

### 1.3 Prodyšnost a propustnost vodních par

Popsaná metoda vrstvení oblečení souvisí i s prodyšností a propustností vodních par. Propustnost vodních par představuje schopnost materiálu propouštět vodní páry ven z oblečení. Kdyby vrstvy nebyly prodyšné a propustné, spodní oblečení by navlhlo naším potem a my bychom byli v chladném prostředí. Propustnost vodních par  $WVP$  [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} / 24$  hodin] *Moisture Vapour Transmission Rate* je veličina, která v praxi udává kolik gramů páry je schopno se odpařit přes  $1 \text{ m}^2$  textilie během 24 hodin. Metoda založená na měření propustnosti páry se nazývá MVTR ( *Moisture Vapour Transmission Rate* ). Propustnost vodních par lze určit i nepřímou metodou - určením výparného odporu  $R_{et}$ . Označení vzniklo z anglického *Resistance of Evaporation of a Textile*. Hodnotu  $R_{et}$  lze přepočítat na odpovídající hodnotu propustnosti vodních par [8]. Asi nejznámějším materiálem s dobrou prodyšností je Gore-tex<sup>®</sup> [2].

Pokud budeme chtít využít kvalitního prodyšného oblečení, měli bychom striktně dodržovat zásady oblékání do více vrstev. Doporučuje se vycházet ven za pocitu mírného chladu, neboť mikroklima se během fyzické zátěže upraví.

## 1.4 Výška vodního sloupce

Pojem vodní sloupec, v této práci označovaný jako  $h_{\text{H}_2\text{O}}$ , je spojen s nepromokavostí nebo voděodolností. U textilních materiálů se jeho velikost udává nejčastěji v cm nebo mm. Každý si dokáže pod pojmem voděodolnost představit, že daný výrobek bude odolávat vodě, ale pojem vodní sloupec není vždy chápán intuitivně. Jednoduše lze říci, že pokožka zůstane pod tímto oblečením suchá. Vodní sloupec, respektive jeho výška, popisuje schopnost odolávat tlaku vody. Čím je hodnota vyšší, tím bude daný výrobek odolnější. Najdeme ho na bundách, kalhotách, stanech či na batohu. Je nutné brát v úvahu, že nepromokavost výrobku snižují švy, zipy, větrací otvor atd. Vodní sloupec je schopnost odolávat tlaku vody na materiálu, nikoliv na celém výrobku.

Jak se vlastně docílí tzv. vodního sloupce? Laminace je metoda, která se používá při spojení textilie s membránou. Díky novým technologiím a novým textiliím dosahujeme výborných výsledků velikosti vodního sloupce. Dle norem musí být minimální vodní sloupec  $h_{\text{H}_2\text{O}} > 2000 \text{ mm H}_2\text{O}$  pro sportovní oděvy [9].

Pro zajímavost, aby materiál odolal klečení v mokré trávě, je nutné  $h_{\text{H}_2\text{O}} \geq 12000 \text{ mm H}_2\text{O}$ . V dnešní době dosahují nejlepší materiály  $h_{\text{H}_2\text{O}} \approx 15000 - 20000 \text{ mm H}_2\text{O}$ , navzdory tomu ale ani materiál těchto parametrů nedokáže odolávat tlaku vody neomezeně dlouhou dobu, neboť výrobky musí být současně propustné, aby vlhkost z našeho těla pronikala ven a naše tělo neprochladlo z našeho potu [10].

## 1.5 Výparný odpor

Výparný odpor souvisí s propustností vodních par, respektive existuje mezi nimi jednoznačný vztah. Čím vyšší propustnost vodních par, tím nižší výparný odpor. Zjednodušeně lze říci, že výparný odpor udává účinky teploty při určitém výparu potu [12]. Parametry udávané u výparného odporu určují míru ochlazení lidské pokožky prostřednictvím odvodu par potu.

## Kapitola 2

# Seznámení s měřicími přístroji

V této kapitole se seznámíme detailněji s měřicími přístroji, které budou dále použity k měření komfortních vlastností textilií. První přístrojem, který byl použit je přístroj Permetest pro relativní paropropustnost a výparný odpor. Dalším přístrojem byl FX 3300, který se užívá pro určení prodyšnosti vzduchu principem podtlaku. A konečně výška vodního sloupce byla změřena pomocí přístroje Hydrostatic head tester SDL Atlas. Popis přístrojů se omezuje na rozsah vhodný pro základní pochopení principů funkce daných přístrojů.

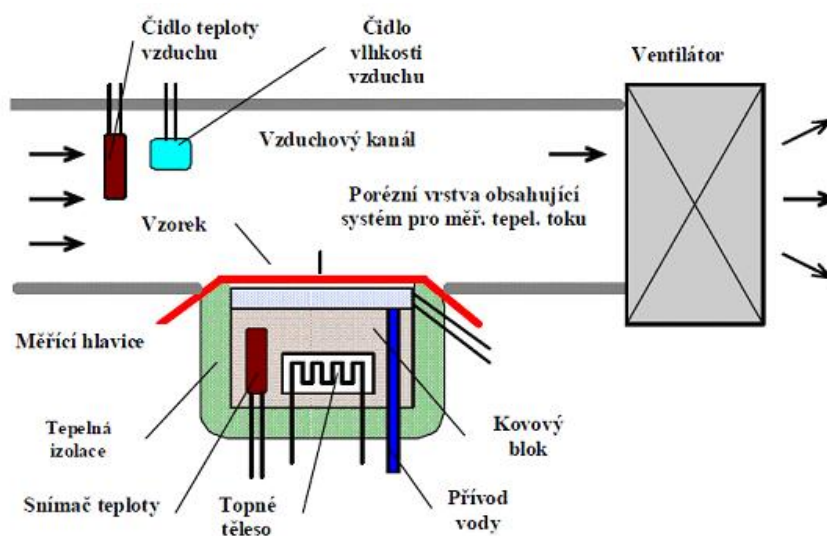
### 2.1 Permetest

Permetest byl v roce 1990 patentován profesorem Lubošem Hesem z Technické univerzity v Liberci. Přístroj Permetest na principu skin model měří tepelný odpor, výparný odpor a relativní propustnost vodních par. V této práci byl použit pouze pro měření výparného odporu  $R_{et}$  [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ]. Zjednodušeně můžeme říci, že výparný odpor udává účinky teploty při určitém výparu potu. Parametry udávané u výparného odporu určují míru ochlazování lidské pokožky. Přístroj pracuje na principu měření tepelného toku, který prochází modelem pokožky skrz měřenou textilií. Pokožka je nahrazena porézním materiálem, který je stále zvlhčován, tak je simulováno pocení pokožky. Na tento povrch je pak přiložena měřená textilie. Povětrnostní podmínky okolního prostředí jsou simulovány ofukováním vzorku z vnější strany. Přesnost přístroje není závislá na vnějších podmínkách, protože měření probíhá pod hlavicí, kde se vytvoří pokaždé stejné klimatické poměry.

Teplota v komoře, kde je přístroj uložen, se udržuje v rozmezí 20 – 23°C. To



Obrázek 2.1: Měřicí přístroj Permetest [13].



Obrázek 2.2: Blokové schéma měřicího přístroje Permetest [3].

zajišťuje izotermické podmínky měření. Když dojde k samotnému měření, tak na porézní vrstvě obsahující systém pro měření tepelného toku se obsažená vlhkost mění v páru. Pára dále prostupuje přes separační folii vzorkem. Tepelný tok je měřen snímačem teploty a jeho hodnota je přímo úměrná paropropustnosti

textilie nebo nepřímo úměrná jejímu výparnému odporu [3].

Permetest je vhodný k měření relativní proustnosti vodních par a výparného odporu. Výhodou přístroje je doba měření cca 2–3 minuty. Měření není destruktivní lokálně v místě měření ani globálně (vzorky je možné vložit v jakémkoli tvaru bez stříhání). Vzhledem k malým rozměrům má přístroj vysokou mobilitu. Přístroj umožňuje měření ve dvou režimech suchém a mokřím, aby materiál byl testován v prostředí, na které je primárně zacílen.

## 2.2 FX 3300

Měřicí přístroj FX 3300 se užívá pro měření prodyšnosti vzduchu tkanin, které je prováděno principem podtlaku. Výhodou tohoto přístroje je, že je zde možnost měření silnějších i slabších textilií. Vzorek je možné vložit v kuse v jakémkoli tvaru bez stříhání, proto není nutná jejich destrukce. Vlastní plocha měření je  $5 \text{ cm}^2$ , jednotkou propustnosti je  $l \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ .



Obrázek 2.3: Měřicí přístroj FX 3300 [11].

Vzorek je umístěn pod upínacím ramenem a následně stlačen dolů. Mezi vzorkem a upínacím ramenem dochází k vytvoření tlakového rozdílu na obou stranách materiálu, a následného měření průtoku vzduchu. Po stlačení upínacího ramene lze po ustálení naměřené hodnoty odečítat na měřicí jednotce. Naměřená data mohou být analyzována elektronicky nebo ručně. Dražší verze přístroje je možné připojit na počítač a veškerou analýzu a záznamy případně automatizovat, což umožňuje významně redukovat pravděpodobnost chyby obsluhy.

## 2.3 Hydrostatic head tester SDL Atlas

Výška vodního sloupce byla měřena pomocí přístroje Hydrostatic head tester od firmy SDL Atlas viz. obrázek 2.4.



Obrázek 2.4: Měřicí přístroj Hydrostatic head tester SDL Atlas [14].

Přístroj ukazuje výšku vodního sloupce v cm  $H_2O$ , který se spolu s časem měření a nastaveným přírůstkem tlaku ukazuje na displeji. Přístroj funguje na principu namáhání tlakem vody ze spodu na upnutý vzorek. Měřený vzorek se položí na kruhovou podložku a následně se po přitlačení upevní hlavicí. Je důležité, aby přesahoval kruhovou podložku po upevnění. Testovací plocha je  $100\text{ cm}^2$ . Před vlastním měřením je nutné nastavit přírůstek tlaku vody a pak je možné vlastní měření spustit. Voda je vytlačována stlačeným vzduchem a působí tlakem na povrch textilie. Měření se provádí dle normy ISO 811 – Stanovení odolnosti proti pronikání vody – Zkouška tlakem vody, vydané v roce 1981. Měření probíhá do doby, než se na povrchu daného vzorku objeví tři kapky vody. V tomto okamžiku je měření ukončeno, zaznamenaná se čas a dosažená výška vodního sloupce.

### 2.3.1 Měření dle ČSN EN 20811 (80 0818)

Tato norma [5] slouží k stanovení odolnosti textilií proti pronikání vody při působení tlaku vody. Norma předepisuje postup, kdy upnutý vzorek má z jedné strany volný povrch a z druhé strany je namáhán působením tlaku vody. Důležitým okamžikem je zkontrolovat proniknutí kapek vody, kterým je měření ukončeno a výsledek je aktuální hodnota výšky vodního sloupce.

Pro správné určení musí vzorek a přístroj splňovat následující podmínky:

1. Vzorek by měl být upnut tak, aby byl vodorovný a nevydoulal se
2. Na celou plochu měřeného vzorku musí působit tlak vody ze spodní nebo z vrchní části
3. Příruby musí být obloženy vhodným typem gumy, aby voda neprosakovala

a u okraje nedocházelo k pronikání vody

Norma předepisuje pro měření užití destilované vody pokojové teploty. Použití vody s vyšší teplotou, případně s větším obsahem dalších příměsí, by mělo za následek naměřenou nižší hodnotu vodního sloupce.



## Kapitola 3

# Použitý matematický aparát statistiky

Každý materiál, ať už textilní či jiný, je málokdy dokonale homogenní, což znamená, že i jeho parametry jsou v každé jeho části jiné [1]. Cílem této kapitoly je naučit se s tímto rozptylem parametrů pracovat při určování intervalu spolehlivosti parametrů. Cílem je neopomenout ani skutečnost, že každé měření je zatíženo nejistotou, která se u měření vyskytuje i v případě, že dodržíme veškeré postupy předepsané normou. Nejistoty měření vycházejí z fyzikálního měření dané veličiny - citlivosti senzorů, případně převodu měřené veličiny na jinou veličinu, vnitřního šumu, nelinearit přístroje, nedokonalé teplotní stabilizace a jiných vlivů. Nejistoty měření nejsou problémem, je však důležité je neopomenout a znát jejich velikost.

### 3.1 Statistické zpracování dat a určení nejistot měření

Cílem statistického zpracování dat je určit interval spolehlivosti pro danou vlastnost materiálu na zvolené hladině pravděpodobnosti. Interval spolehlivosti vyhodnocujeme se zahrnutím lokálních anomálií v materiálu, jejich vliv minimalizujeme opakovaným měřením na jiném místě vzorku. Nejprve pro jednoduchost uvažujme, že všechny hodnoty fyzikální veličiny  $u$  známe (měříme) přesně na  $n$ -vzorcích (nebo  $n$ -místech) jednoho typu materiálu. Tento statistický soubor, který není zasazen nejistotami měření, označíme  $U = [u_1, u_2, \dots, u_n]$ . Předpokládáme, že pro  $n \rightarrow \infty$  by statistický soubor měl normální rozdělení. V této práci je počet opakovaných měření jednoho typu veličiny na jednom vzorku maximálně 10, pro statistickou charakteristiku takového statistického souboru je

### KAPITOLA 3. POUŽITÝ MATEMATICKÝ APARÁT STATISTIKY

proto vhodný výběrový rozptyl  $\sigma_u^2$  definovaný vztahem (3.2) a standardní vztah (3.1) pro výpočet střední hodnoty  $\mu_u$ .

$$\mu_u = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i \quad (3.1)$$

$$\sigma_u^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (u_i - \mu_u)^2 \quad (3.2)$$

Vzhledem ke skutečnosti, že opakovaných měření bylo pouze omezený počet, hodnoty  $\mu_u$  a  $\sigma_u^2$  jsou pouze odhady na dané parametry statistického souboru, kde  $n \rightarrow \infty$ . Chceme určit interval spolehlivosti veličiny  $u$  s pravděpodobností  $p$ , což v praxi znamená interval hodnot, do kterého bude spadat libovolné opakované měření s pravděpodobností  $p$ . Uvažovaný statistický soubor měření  $U$  vzhledem k počtu  $n$  odpovídá Studentovu  $t$ -rozdělení, proto interval spolehlivosti je definován jako

$$\langle \mu_u - t_{p,n} \frac{\sigma_u}{\sqrt{n}}, \mu_u + t_{p,n} \frac{\sigma_u}{\sqrt{n}} \rangle, \quad (3.3)$$

kde  $t_{p,n}$  je Studentův součinitel, který pro  $n$  měření a pravděpodobnost  $p$  modifikuje šířku intervalu spolehlivosti [6]. Na závěr zavedeme označení pro polovinu šířky intervalu spolehlivosti  $\delta u = t_{p,n} \frac{\sigma_u}{\sqrt{n}}$ , tuto hodnotu budeme u měření konfrontovat s hodnotou, která bude zohledňovat nepřesnost měřicího přístroje (odvozeny budou pro jednotlivé přístroje dále). Realita je ale složitější, neboť každý měřicí přístroj má pouze omezenou přesnost. Každá hodnota odečítaná z libovolného měřicího přístroje je zatížena nejistotou měření, které pro přístroje představené v předchozí kapitole popisuje tabulka 3.1.

Přístroj	Nejistota měření		
	relativní $\epsilon_r$	absolutní $\epsilon_a$	ostatní
Permetest	–	–	$c_v \leq 3\%$
FX 3300	$\leq \pm 3\%$	–	–
SDL Atlas	$\leq \pm 0,5\%$	$\leq \pm 1 \text{ cmH}_2\text{O}$	–

Tabulka 3.1: Nejistoty měření použitých přístrojů [17, 16, 15].

Symbolem  $c_v$  je označen variační koeficient, který lze chápat jako informace o distribuci nejistoty přístroje při opakovaném měření. Relativní nejistota měření  $\epsilon_r$  je definovaná relativně k odečítané hodnotě na přístroji a znamená, že uvedné procento ze zobrazované hodnoty je nejistotou měření. Naopak absolutní nejistota měření  $\epsilon_a$  je definovaná absolutně k odečítané hodnotě na přístroji, nejistota měření je v tomto případě nezávislá na zobrazované hodnotě a je zadána konstantní hodnotou. Model nejistoty měření založený na  $\epsilon_r$  a  $\epsilon_a$  lze považovat

za standardní. K již zavedeným přesným hodnotám veličiny  $u$  definujeme jejich protějšky získané měřením (s nejistotami), které navíc označíme pomocí horního pruhu  $\bar{u}$ . Stejnou konvenci označení s horním pruhem budeme analogicky užívat i v indexech všech dalších veličin vztahujících se k naměřeným veličinám (např.  $\mu_{\bar{u}}$ ). V praxi se spíše než se statistickým souborem  $U$  setkáme s  $\bar{U} = [\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots, \bar{u}_n]$  (se statistickým souborem naměřených hodnot s nejistotami měření). Práci s tímto statistickým souborem si ukážeme dále.

### 3.2 Určení nejistot měření pro FX 3300 a Hydrostatic head tester

Model nejistoty měření založený na  $\epsilon_r$  a  $\epsilon_a$  nám umožňuje vyjádřit vztah mezi skutečnou hodnotou veličiny  $u_i$  a její naměřenou hodnotou  $\bar{u}_i$  ve tvaru

$$u_i \approx \bar{u}_i \pm \epsilon_r \bar{u}_i \pm \epsilon_a, \quad (3.4)$$

který platí pro libovolnou dvojici  $u_i$  a  $\bar{u}_i$ . Dosadíme-li vztah (3.4) do vzorce pro výpočet střední hodnoty (3.1), získáme

$$\mu_u \approx \frac{\pm \epsilon_a \cdot n + (1 \pm \epsilon_r) \sum_{i=1}^n \bar{u}_i}{n} = \mu_{\bar{u}} \pm \epsilon_r \mu_{\bar{u}} \pm \epsilon_a. \quad (3.5)$$

Stejným způsobem dosadíme-li vztah (3.4) do vzorce pro výpočet výběrového rozptylu (3.1) a využitím vztahu (3.5) získáme

$$\begin{aligned} \sigma_u^2 &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{u}_i \pm \epsilon_r \bar{u}_i \pm \epsilon_a - (\mu_{\bar{u}} \pm \epsilon_r \mu_{\bar{u}} \pm \epsilon_a))^2 \\ &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (1 \pm \epsilon_r)^2 (\bar{u}_i - \mu_{\bar{u}})^2 \\ &\approx (1 \pm \epsilon_r)^2 \sigma_{\bar{u}}^2 \\ &\leq (1 + \epsilon_r)^2 \sigma_{\bar{u}}^2 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Při odvození vztahů (3.5) a (3.6) jsme předpokládali, že každé měření je zatíženo nejistotou maximálním možným způsobem dle tabulky 3.1. Korekce určení střední hodnoty (3.5) je jasná - rozšiřuje interval spolehlivosti stejnou měrou na obě strany. U korekce určení výběrového rozptylu závisí na znaménku relativní chyby - proto budeme předpokládat méně příznivý případ, kdy  $(1 \pm \epsilon_r)^2 \geq 1$ , tedy  $(1 + \epsilon_r)^2 \geq 1$  dle vztahu (3.6). Dosazením vztahů (3.5) a (3.6) do (3.3)

získáme korigovaný interval spolehlivosti pro přesné hodnoty veličiny  $u$  ve tvaru

$$\langle \mu_{\bar{u}} - \epsilon_r |\mu_{\bar{u}}| - \epsilon_a - t_{p,n}(1 + \epsilon_r) \frac{\sigma_{\bar{u}}}{\sqrt{n}}, \mu_{\bar{u}} + \epsilon_r |\mu_{\bar{u}}| + \epsilon_a + t_{p,n}(1 + \epsilon_r) \frac{\sigma_{\bar{u}}}{\sqrt{n}} \rangle, \quad (3.7)$$

vztah obsahuje absolutní hodnoty, tak aby platil i pro měření, kde  $\mu_{\bar{u}} < 0$ . Zavedeme-li označení pro polovinu délky intervalu spolehlivosti  $\Delta u = \epsilon_r |\mu_{\bar{u}}| + \epsilon_a + t_{p,n}(1 + \epsilon_r) \frac{\sigma_{\bar{u}}}{\sqrt{n}}$ , můžeme po vhodném zaokrouhlení psát  $u = \mu_{\bar{u}} \pm \Delta u$ .

Zaokrouhlení se provádí běžným způsobem tak, aby hodnota  $\mu_{\bar{u}}$  neměla vyšší počet platných čísel než hodnota odečtená z měřicího přístroje. Korekce  $\Delta u$  by měla mít jednu platnou cifru za předpokladu, že zaokrouhlení vede na první platnou cifru  $z$  v rozmezí 3–9, a opravovat by měla poslední platnou cifru  $\Delta u$ . Pokud by zaokrouhlení  $\Delta u$  vedlo na platnou cifru 1 nebo 2, pak je možné ji zaokrouhlit na dvě platná čísla s tím, že korekce bude opravovat dvě poslední platné cifry výsledku. Korekce se zaokrouhluje vždy nahoru, střední hodnotu zaokrouhlujeme běžným způsobem.

### 3.3 Určení nejistot měření pro Permetest

Přístroj Permetest nepoužívá standardního modelu nejistoty měření (viz. předchozí oddíl), nejistotu měření lze ale určit podobným způsobem. Uvažujme model nejistoty měření založený na vztahu

$$u_i \approx \bar{u}_i \pm \Delta_i, \quad (3.8)$$

kde  $\Delta_i$  je nejistota při měření hodnoty  $\bar{u}_i$ . O nejistotě měření  $\Delta_i$  předpokládáme, že má normální rozdělení a nulovou střední hodnotu a rozptyl  $\sigma_{\Delta}^2 = (c_v \cdot \mu_{\bar{u}})^2$ . Uvedená míra zjednodušení je nezbytná pro další úvahy. Vztah pro nejistotu měření (3.8) opět dosadíme do (3.1) a získáme

$$\mu_u \approx \frac{\sum_{i=1}^n (\bar{u}_i + \Delta_i)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{u}_i + \underbrace{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta_i}_{\approx 0} \approx \mu_{\bar{u}}. \quad (3.9)$$

Předpoklad, že přesné a naměřené hodnoty  $u_i$  respektive  $\bar{u}_i$  mají stejnou střední hodnotu, je oprávněný pro větší počet měření a klíčový pro další úvahy. Dále dosadíme vztah (3.8) do vzorce (3.2), současně využijeme vztahu (3.9) a znalosti

variačního koeficientu  $c_v = \sigma_\Delta / \mu_{\bar{u}}$ , pak můžeme odvodit vztah

$$\begin{aligned}\sigma_u^2 &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\bar{u}_i \pm \Delta_i - \mu_{\bar{u}})^2 \\ &\approx \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left( (\bar{u}_i - \mu_{\bar{u}})^2 + (\Delta_i)^2 \pm 2(\bar{u}_i - \mu_{\bar{u}})(\Delta_i) \right) \\ &\approx \sigma_{\bar{u}}^2 + \sigma_\Delta^2 + 2 \cdot \text{cov}(\bar{u}, \Delta).\end{aligned}\tag{3.10}$$

Výsledek nyní diskutujeme, člen  $\text{cov}(\bar{u}, \Delta)$  označuje kovarianci mezi veličinami  $\bar{u}$  a  $\Delta$ , tedy míru jak se navzájem mění. Obecně platí  $|\text{cov}(\bar{u}, \Delta)| \leq \sqrt{\sigma_{\bar{u}}^2 \sigma_\Delta^2}$ , přičemž využití tohoto horního odhadu by vedlo na pesimističtější výsledky ve smyslu délky intervalu spolehlivosti. Není důvod se domnívat, že velikost odchylky naměřené hodnoty od střední hodnoty všech měření  $(\bar{u}_i - \mu_{\bar{u}})$  souvisí s mírou nejistoty měření. V takovém případě platí  $\text{cov}(\bar{u}, \Delta) \approx 0$ . Za tohoto předpokladu se vztah (3.10) redukuje na

$$\sigma_u^2 \approx \sigma_{\bar{u}}^2 + \sigma_\Delta^2,\tag{3.11}$$

což je vztah, který platí obecně pro součet rozptylů dvou nezávislých veličin s normálním rozdělením. Dosazením vztahu (3.11) do (3.3) získáme korekci intervalu spolehlivosti pro přesné hodnoty veličiny  $u$  ve tvaru

$$\left\langle \bar{\mu}_u - t_{p,n} \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{u}}^2 + c_v^2 \mu_{\bar{u}}^2}}{\sqrt{n}}, \bar{\mu}_u + t_{p,n} \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{u}}^2 + c_v^2 \mu_{\bar{u}}^2}}{\sqrt{n}} \right\rangle,\tag{3.12}$$

kde opět  $\Delta u = t_{p,n} \frac{\sqrt{\sigma_{\bar{u}}^2 + c_v^2 \mu_{\bar{u}}^2}}{\sqrt{n}}$ . Počet platných cifer a pravidla pro zaokrouhlení se řídí stejnými pravidly jako u přístrojů se standardním modelem nejistoty.

## Kapitola 4

# Měření vzorků a vyhodnocení naměřených hodnot

Poslední kapitola navazuje přímo na kapitoly 2 a 3, teoretické poznatky získané v uvedených kapitolách jsou uváděny do praxe ve formě měření komfortních vlastností vzorků textilií v souladu s předepsanými normami a výsledky jsou statisticky vyhodnocovány.

### 4.1 Připravené vzorky

Praktická část měření sestává z celkem 18-ti vzorků, které mají být podrobeny měření prodyšnosti pro vzduch, výparného odporu, ze kterého se dále bude určovat propustnost vodních par a na závěr také měření vodního sloupce. Vzorky textilií pro každý typ měření měly určitou velikost a měření bylo prováděno na stanoveném počtu vzorků.

1. měření prodyšnosti pro vzduch
  - celkem 7 vzorků
  - velikost vzorků byla cca 20 cm<sup>2</sup>
2. měření výparného odporu
  - celkem 10 vzorků
  - velikost vzorků byla cca 10 cm<sup>2</sup>
3. měření hydrostatické odolnosti (vodního sloupce)
  - celkem 18 vzorků

## KAPITOLA 4. MĚŘENÍ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

- velikost vzorků byla cca 100 cm<sup>2</sup>

Označení jednotlivých typů textilií s informacemi, kterým měřením byly podrobeny, ilustruje tabulka 4.1.

Vzorek			Měření		
Označení	Popis / Složení	$\frac{\rho_s}{[g \cdot m^{-2}]}$	1. <sup>2</sup>	2. <sup>3</sup>	3. <sup>4</sup>
$\mathcal{A}$	vzorek oranžové barvy 100% polyester polar fleece	308	✓		✓
$\mathcal{B}$	vzorek s vlasem šedé barvy 100% polyester a podšívka fleece	458	✓		✓
$\mathcal{C}$	vzorek jasně modré barvy bez textury 100% polyester s podšívkou fleece	328	✓	✓	✓
$\mathcal{D}$	vzorek černé barvy s potiskem kostiček 100% polyester s modrým fleecem	359	✓	✓	✓
$\mathcal{E}$	vzorek černé barvy slabší materiál 65% bavlna, 35% polyester	314	✓	✓	✓
$\mathcal{F}$	vzorek růžové barvy s texturou a podšívkou 100% polyester a podšitý fleecem	321	✓	✓	✓
$\mathcal{G}$	vzorek zelené barvy s texturou kytiček 95% polyester, 5% elastan podšívka microfleece	335	✓		✓
$\mathcal{H}$	vzorek růžové barvy 100% polyester	151			✓
$\mathcal{I}$	vzorek stříbrné barvy 95% polyester a 5% elastan	152			✓
$\mathcal{J}$	vzorek vínové barvy 95% polyester a 5% elastan a podšívka fleecem	139			✓
$\mathcal{K}$	vzorek žluté barvy 100% polyester	144			✓
$\mathcal{L}$	vzorek zelené barvy s texturou 100% polyester a podšívka micro fleecem	136			✓
$\mathcal{M}$	vzorek hnědé barvy 95% polyester, 5% elastan s podšívkou fleecem	255		✓	✓
$\mathcal{N}$	vzorek bílá s motivem kytiček, stretch 95% polyester, 5% elastan	267		✓	✓
$\mathcal{O}$	vzorek žluté barvy 100% polyester	258		✓	✓
$\mathcal{P}$	vzorek červené barvy 100% polyester podšívka fleece	248		✓	✓
$\mathcal{Q}$	vzorek fialové barvy 92% polyester, 8% elastan	257		✓	✓
$\mathcal{R}$	vzorek tyrkysové barvy 100% polyester a podšitý mikrofleecem	255		✓	✓

Tabulka 4.1: Přehled provedených měření.

<sup>2</sup>měření prodyšnosti pro vzduch

<sup>3</sup>měření výparného odporu

<sup>4</sup>měření hydrostatické odolnosti (vodního sloupce)

## 4.2 Prodyšnost pro vzduch

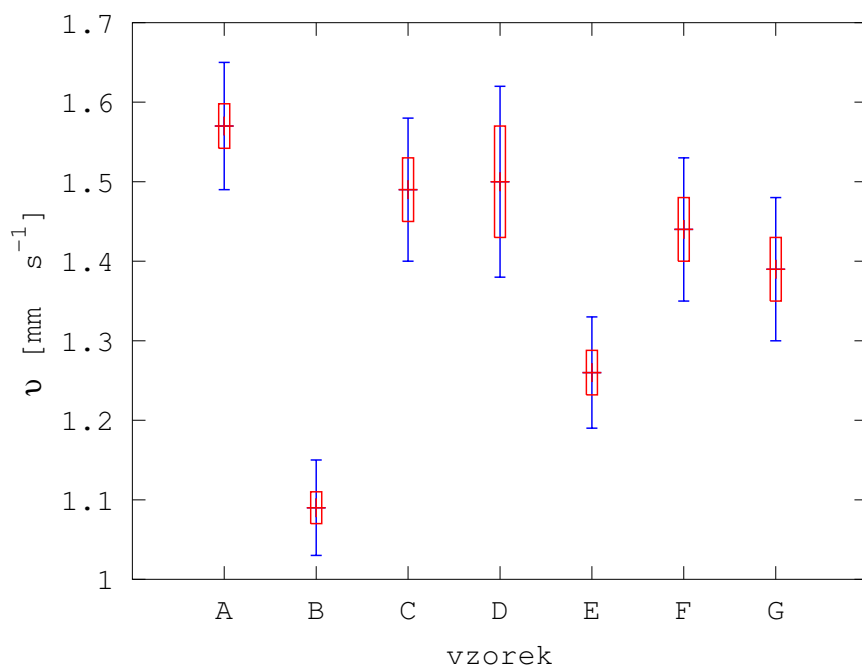
Textilie byly testovány podle normy ČSN EN ISO 9237 (800817) Textilie - Zjišťování prodyšnosti plošných textilií pro vzduch. Tlakový spád měl velikost 100 Pa, což je normou předepsaná hodnota pro oděvní textilie. Zkušební plocha byla 20 cm<sup>2</sup>. Na přístroji byla přímo odečítána hodnota prodyšnosti v [mm · s<sup>-1</sup>] = [l · m<sup>-2</sup> · s<sup>-1</sup>]. K dispozici bylo 7 vzorků pro sportovní oděvy. Vzorky jsou označovány dle tabulky 4.1.

Číslo měření	Prodyšnost vzduchu $v$ [mm · s <sup>-1</sup> ]						
	$\mathcal{A}$	$\mathcal{B}$	$\mathcal{C}$	$\mathcal{D}$	$\mathcal{E}$	$\mathcal{F}$	$\mathcal{G}$
1.	1,58	1,10	1,43	1,44	1,19	1,31	1,44
2.	1,63	1,04	1,44	1,57	1,33	1,41	1,48
3.	1,58	1,09	1,41	1,60	1,24	1,48	1,41
4.	1,57	1,07	1,44	1,45	1,20	1,45	1,49
5.	1,60	1,11	1,45	1,75	1,22	1,43	1,33
6.	1,51	1,07	1,60	1,56	1,26	1,44	1,29
7.	1,55	1,05	1,57	1,45	1,31	1,46	1,36
8.	1,46	1,15	1,53	1,33	1,31	1,44	1,39
9.	1,60	1,13	1,51	1,56	1,23	1,56	1,35
10.	1,58	1,11	1,53	1,51	1,26	1,39	1,34
<b>Statistické zpracování dat</b>							
$\mu_{\bar{v}}$	1,566	1,092	1,491	1,522	1,255	1,437	1,388
$\sigma_{\bar{v}}$	0,049	0,035	0,066	0,114	0,048	0,064	0,066
$\pm\delta v$	0,028	0,020	0,038	0,066	0,028	0,037	0,038
$\pm\Delta v$	0,076	0,054	0,084	0,114	0,067	0,081	0,081
<b>Výsledné hodnoty po zaokrouhlení</b>							
$v$	1,57	1,09	1,49	1,52	1,26	1,44	1,39
$\pm\delta v$	0,028	0,02	0,04	0,07	0,028	0,04	0,04
$\pm\Delta v$	0,080	0,06	0,09	0,12	0,07	0,09	0,09

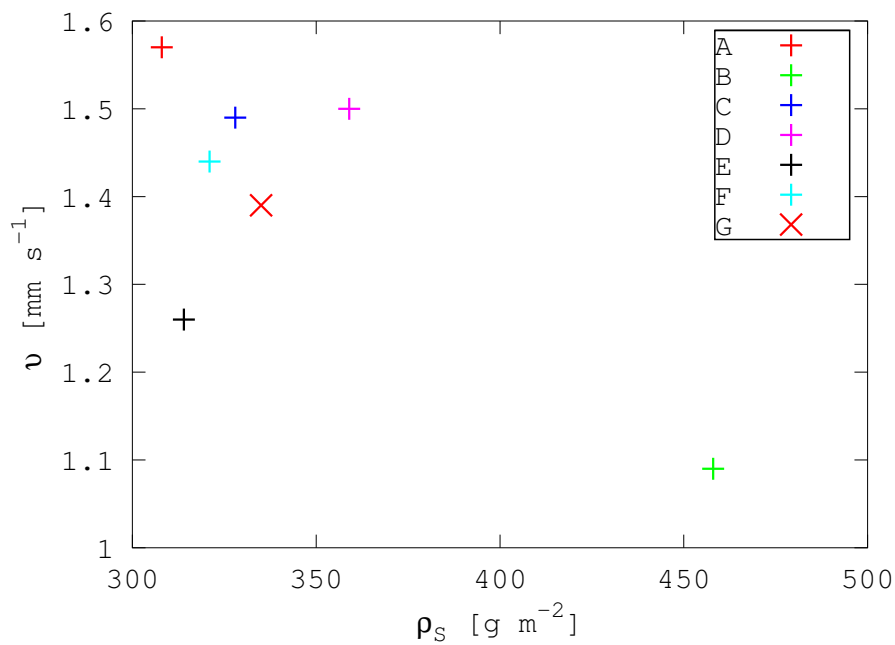
Tabulka 4.2: Prodyšnost vzduchu  $v$  při 100 Pa.

Interval spolehlivosti u tohoto měření byl počítán pomocí Studentova součinitele  $t_{0,9;10} = 1,883$  (10 měření s 90% pravděpodobností). Přístroj FX3300 má dle svého manuálu [16] relativně vysokou nejistotu měření, proto je rozdíl mezi  $\delta v$  a  $\Delta v$  značný. Uvedený fakt ilustruje graf 4.1, kde interval spolehlivosti přesných hodnot  $v$  je vyznačen modrou barvou, červenou barvou je vyznačen interval spolehlivosti pro naměřené hodnoty (bez uvažování nejistot měření). Toto měření ilustruje, jak důležité je s nejistotami měření počítat a jak významných chyb bychom se jejich opomenutím dopustili. Graf 4.2 ukazuje vztah mezi hodnotou prodyšnosti jednotlivých materiálů pro vzduch a jejich plošnou hmotností  $\varrho_S$ , pro názornost je v grafu vynesena pouze střední hodnota jednotlivých měření. Graf 4.2 potvrzuje známý fakt, že prodyšnost jednotlivých





Graf 4.1: Vyhodnocení naměřených hodnot prodyšnosti vzduchu  $v$ .



Graf 4.2: Prodyšnost vzduchu  $v$  vzorků v závislosti na  $\rho_s$ .

vzorků pro vzduch je úzce spjata s plošnou hmotností  $\varrho_S$  za předpokladu, že neuvažujeme vzorky s laminací, případně další úpravy příslušné textilie. Graf 4.2 rozdělil vzorky do 2 skupin:

1.  $\mathcal{A}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{E}, \mathcal{F}, \mathcal{G}$

2.  $\mathcal{B}$

Textilie s vysokou plošnou hmotností ( $\mathcal{B}$ ) a hustou vazbou si není schopna udržet dobrou prodyšnost pro vzduch. Naopak vzorky z první skupiny ( $\mathcal{A}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{E}, \mathcal{F}, \mathcal{G}$ ) při nízké  $\varrho_S$  mají dobrou prodyšnost pro vzduch.

### 4.3 Výparný odpor a propustnost vodních par

Výparný odpor byl měřen na přístroji Permetest v souladu s normou ISO 11092. Rychlost proudění vzduchu byla  $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Měření bylo opakováno na každém vzorku  $3\times$ , jak ilustruje tabulka 4.3, která současně celé měření i vyhodnocuje.

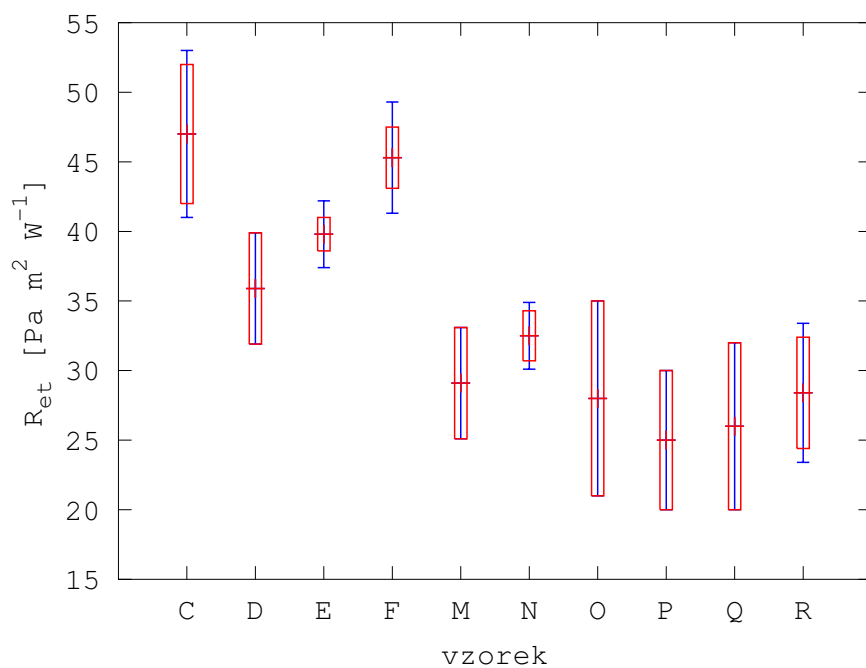
Číslo měření	Výparný odpor $R_{et}$ [ $\text{Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ]									
	$\mathcal{C}$	$\mathcal{D}$	$\mathcal{E}$	$\mathcal{F}$	$\mathcal{M}$	$\mathcal{N}$	$\mathcal{O}$	$\mathcal{P}$	$\mathcal{Q}$	$\mathcal{R}$
1.	43,70	37,94	40,33	43,93	28,10	33,10	25,60	27,70	23,30	30,60
2.	48,70	34,71	38,92	45,41	27,80	31,30	25,80	22,50	29,00	26,00
3.	48,00	34,94	40,15	46,43	31,30	33,10	32,30	24,20	24,30	28,50
Statistické zpracování dat										
$\mu_{R_{et}}$	46,80	35,86	39,80	45,26	29,07	32,50	27,90	24,80	25,53	28,37
$\sigma_{R_{et}}$	2,71	1,80	0,77	1,26	1,94	1,04	3,81	2,65	3,04	2,30
$\pm\delta R_{et}$	4,56	3,04	1,29	2,12	3,27	1,75	6,43	4,47	5,13	3,88
$\pm\Delta R_{et}$	5,14	3,54	2,39	3,12	3,59	2,40	6,58	4,64	5,29	4,14
Výsledné hodnoty po zaokrouhlení										
$R_{et}$	47	36	39,8	45	29	32,5	28	25	26	28
$\pm\delta R_{et}$	5	4	1,2	2,2	4	1,8	7	5	6	4
$\pm\Delta R_{et}$	6	4	2,4	4	4	2,4	7	5	6	5

Tabulka 4.3: Výparný odpor  $R_{et}$ .

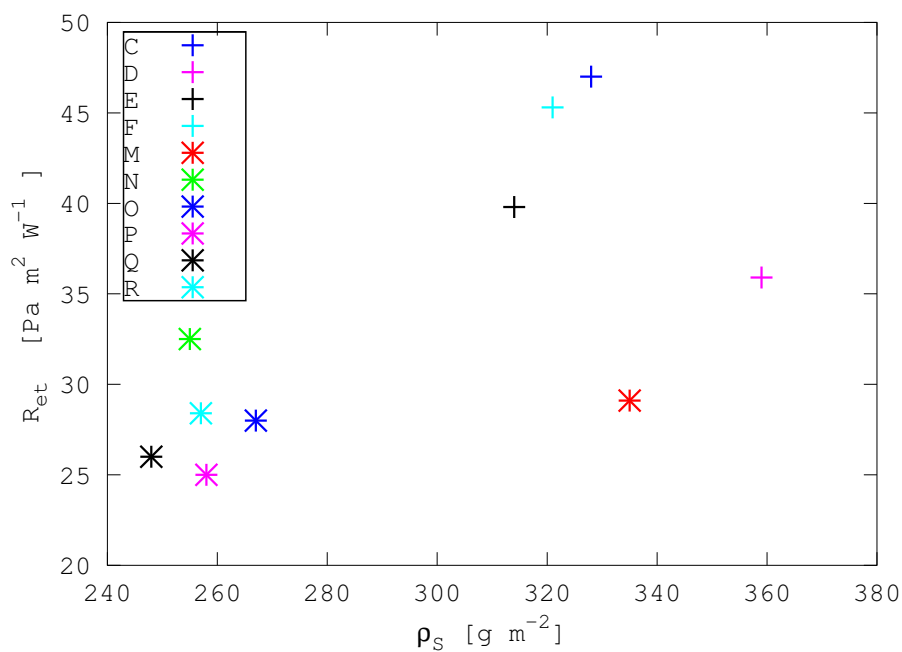
Interval spolehlivosti u tohoto měření byl počítán pomocí Studentova součinitele  $t_{0,9;3} = 2,92$  (3 měření s 90% pravděpodobností). Již podle intervalů spolehlivosti je zřejmé, že měření na Permetestu je přesnější než u předchozího měření, rozdíly mezi hodnotami  $\delta R_{et}$  a  $\Delta R_{et}$  jsou spíše kosmetického charakteru, což ilustruje graf 4.3. Interval spolehlivosti přesných hodnot  $R_{et}$  je vyznačen modrou barvou, červenou barvou je vyznačen interval spolehlivosti bez uvažování nejistot měřícího přístroje. Graf 4.4 ukazuje vztah mezi naměřenou střední hodnotnou výparného odporu  $R_{et}$  jednotlivých vzorků v závislosti na  $\varrho_S$ . V grafu jsou vyneseny opět pouze střední hodnoty naměřených hodnot bez příslušných intervalů spolehlivosti. Graf 4.4 rozděluje měřené vzorky do 3 hlavních kategorií, které jsou na první pohled patrné ze seskupení bodů v rovině. Jedná se o skupiny materiálů:

1.  $\mathcal{N}, \mathcal{O}, \mathcal{P}, \mathcal{Q}, \mathcal{R}$
2.  $\mathcal{C}, \mathcal{E}, \mathcal{F}$
3.  $\mathcal{D}, \mathcal{M}$

Výparný odpor první kategorie vzorků ( $\mathcal{N}, \mathcal{O}, \mathcal{P}, \mathcal{Q}, \mathcal{R}$ ) je malý, stejně jako  $\varrho_S$  jednotlivých vzorků, rozdíly v naměřených hodnotách jsou zapříčiněny především rozdílem ve vazbách materiálů a případnými povrchovými úpravami materiálů. Druhá skupina materiálů ( $\mathcal{C}, \mathcal{E}, \mathcal{F}$ ) má vysoký výparný odpor, který je



Graf 4.3: Vyhodnocení naměřených hodnot výparného odporu  $R_{et}$ .



## KAPITOLA 4. MĚŘENÍ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

---

způsobem typem laminace. Třetí kategorie vzorků (tj. vzorky  $\mathcal{D}, \mathcal{M}$ ) je charakterizována relativně nízkou hodnotou  $R_{et}$  při vysoké plošné hmotnosti. Nízká hodnota  $R_{et}$  je v tomto případě zajištěna použitím kvalitnější membrány.

Hodnoty  $R_{et}$  lze následně přibližně převést na propustnost vodních par  $WVP$  na linearizovaných intervalech závislosti definovaných tabulkou 4.4.

$R_{et}$ [Pa · m <sup>2</sup> · W <sup>-1</sup> ]	<b>Propustnost vodních par</b>	
	slovní hodnocení	$WVP$ [g · m <sup>-2</sup> / 24 hod]
< 6	velmi dobrá	nad 20000
6 – 13	dobrá	9000 – 20000
13 – 20	uspokojivá	5000 – 9000
> 20	neuspokojivá	pod 5000

Tabulka 4.4: Linearizované intervaly závislosti  $WVP(R_{et})$ .

Dle naměřených hodnot  $R_{et}$  je zřejmé, že všechny materiály spadají do kategorie nevyhovující, nejsou tedy v žádném případě vhodné pro náročné tělesné aktivity, kdy je třeba tělo prostřednictvím odvodu vodních par ochlazovat. Jakým způsobem se provádí přepočty  $R_{et}$  na  $WVP$  si ukážeme dále.

## 4.4 Určení propustnosti vodních par $WVP$

Závislost mezi  $R_{et}$  a  $WVP$  je definovaná tabulkou 4.4. Vzhledem k faktu, že naměřené hodnoty  $R_{et}$  jsou mimo primární rozsah tabulky  $6 - 20 \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ , je třeba nalézt vhodnou, ideálně analytickou funkci  $WVP(R_{et})$ , která by měla využívat co nejvíce známých informací a data z tabulky 4.4 aproximovat. Budeme hledat funkci  $WVP(R_{et})$ , která by měla být dobře použitelná pro aproximaci dat na intervalu  $R_{et} \in (6, 20) \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$  a současně budeme předpokládat, že taková funkce data z tabulky 4.4 i dobře extrapoluje (tj. na sjednocení intervalů  $R_{et} \in (0, 6) \cup (20, \infty) \text{ Pa} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{W}^{-1}$ ). Funkce  $WVP(R_{et})$  by měla splňovat:

1. Požadavek na malé odchylky od známých hodnot definovaných v tabulce 4.4. Kvalitu proložení jednotlivých bodů budeme měřit pomocí koeficientu determinace  $R^2$ .
2. Požadavek na vztah s fyzikální realitou, tedy funkce blízká nepřímé úměrnosti splňující:

- $\lim_{R_{et} \rightarrow 0^+} WVP(R_{et}) = \infty$
- $\lim_{R_{et} \rightarrow \infty} WVP(R_{et}) = 0$

Uvedené požadavky nejlépe splňuje mocninná funkce ve tvaru

$$WVP(R_{et}) = 156793 \cdot R_{et}^{-1.1374}, \quad (4.1)$$

která byla vypočtena užitím regresní metody automatizované v *MS Excelu*. Tato funkce má při proložení dat z tabulky 4.4 koeficient determinace  $R^2 = 0.9944$ . Zvolena byla právě tato funkce, neboť jako jediná z elementárních funkcí splňuje implicitně požadavek 1 i 2 a je současně ze všech uvažovaných funkcí nejbližší svým charakterem funkci nepřímé úměrnosti. Informace o tom, že  $WVP$  a  $R_{et}$  jsou ve vztahu nepřímé úměrnosti lze nalézt i v manuálu přístroje Permetest. Vzhledem ke zjevné nelinearitě závislosti  $WVP(R_{et})$  připadala v úvahu funkce nepřímé úměrnosti  $WVP(R_{et}) = a \cdot R_{et}^{-1}$ . Tato jednoparametrická funkce však nedokáže dostatečně dobře aproximovat ani data z tabulky 4.4 – maximální chyba byla o více jak 20% odlišná oproti hodnotě z tabulky 4.4. Další možností by bylo užití po částech lineární funkce tj. extrapolovat dva nejbližší body – tato možnost byla zavrhnuta, protože přístup není vhodný pro silně nelineární data ani pro extrapolaci na širším intervalu.

Poznámka: Se znalostí dalších informací (např. přesnějších hodnot) nad rámec tabulky 4.4 by zcela jistě šla konstruovat funkce  $WVP(R_{et})$ , která by lépe odpovídala fyzikální realitě na zvoleném úseku, případně v celém intervalu fyzikálně reálných hodnot  $R_{et}$ .

# KAPITOLA 4. MĚŘENÍ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Kromě určení odpovídající hodnoty  $WVP$  pro naměřené hodnoty  $R_{et}$  lze spojitý vztah (4.1) užít pro určení chyby měření, tu lze pro nepřímo měřenou veličinu snadno určit pomocí lineárního zákona hromadění chyb (totálního diferenciálu), v našem případě pouze jako:

$$\begin{aligned} |\Delta WVP| &= \left| \frac{d(WVP(R_{et}))}{dR_{et}} \right| |\Delta R_{et}| = \left| \frac{d(156793 \cdot R_{et}^{-1.1374})}{dR_{et}} \right| |\Delta R_{et}| \\ &\approx 178336 \cdot R_{et}^{-2.1374} \cdot |\Delta R_{et}|. \end{aligned} \quad (4.2)$$

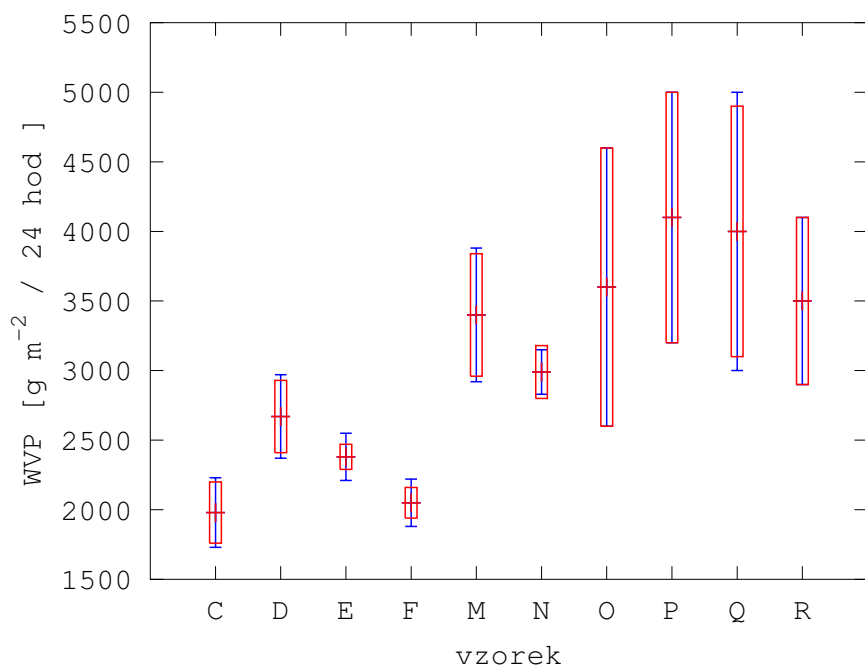
Pomocí výše uvedené funkce a vztahu pro chybu měření nepřímo měřené veličiny byla určena hodnota propustnosti vodních par pro jednotlivé vzorky včetně tolerancí viz. tabulka 4.5. Nejistoty měření jsou u některých vzorků příliš vy-

	Prodyšnost vodních par $WVP$ [ $\text{g} \cdot \text{m}^{-2} / 24 \text{ hod}$ ]									
	$\mathcal{C}$	$\mathcal{D}$	$\mathcal{E}$	$\mathcal{F}$	$\mathcal{M}$	$\mathcal{N}$	$\mathcal{O}$	$\mathcal{P}$	$\mathcal{Q}$	$\mathcal{R}$
$\mu_{WVP}$	1975	2673	2375	2052	3395	2990	3557	4067	3934	3491
$\pm \delta WVP$	219	258	88	109	434	183	932	834	899	543
$\pm \Delta WVP$	247	300	162	161	476	251	954	866	927	579
Výsledné hodnoty po zaokrouhlení										
$WVP$	1980	2700	2380	2050	3400	2990	4000	4100	4000	3500
$\pm \delta WVP$	220	260	90	110	440	190	1000	900	900	600
$\pm \Delta WVP$	250	300	170	170	480	160	1000	900	1000	600

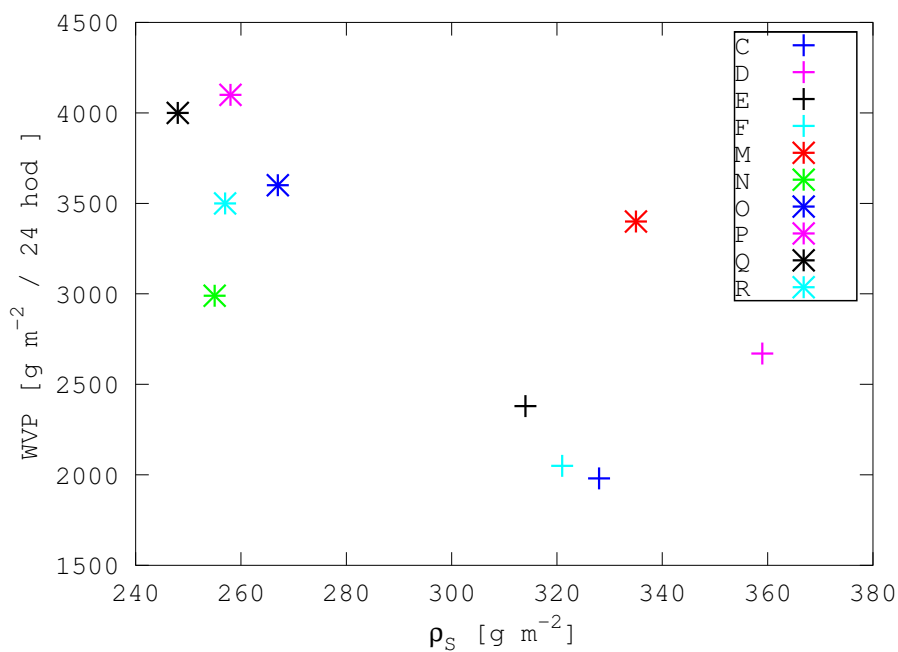
Tabulka 4.5: Prodyšnost vodních par  $WVP$ .

soké. Způsobeny jsou nelineárním vztahem pro přepočtení mezi  $R_{et}$  a  $WVP$ , který nejistoty z měření  $R_{et}$  dále zesiluje. Dle grafu 4.5, kdy opět interval spolehlivosti přesných hodnot  $WVP$  je vyznačen modrou barvou a červenou barvou je vyznačen interval spolehlivosti  $WVP$  bez uvažování nejistot měřícího přístroje, je zřejmé, že přesnost přístroje se na šířce intervalů spolehlivosti příliš neprojevuje. Pro přesnější určení hodnot by bylo třeba měření opakovat vícekrát a extrémní hodnoty filtrovat. Vícenásobné měření by současně omezilo i velikost Studentova součinitele, který byl pro toto měření opět  $t_{0,9;3} = 2,92$  (3 měření s 90% pravděpodobností). Graf 4.6 je uveden spíše pro úplnost, jedná se o komplementární graf ke grafu 4.4. Graf 4.6 vypovídá o vlastnostech materiálů totéž, neboť veličiny  $R_{et}$  a  $WVP$  jsou mezi sebou svázány jednoznačným vztahem 4.1.

# KAPITOLA 4. MĚŘENÍ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT



Graf 4.5: Vyhodnocení naměřených hodnot prodyšnosti vodních par  $WVP$ .



Graf 4.6: Prodyšnosti vodních par  $WVP$  vzorků v závislosti na  $\rho_s$ .



## 4.5 Hydrostatická odolnost

Měření výšky vodního sloupce bylo prováděno podle normy ČSN EN 20811 (800818) Textilie - Stanovení odolnosti proti pronikání vody. Zkouška tlakem vody. Přírůstek tlaku vodního sloupce  $h_{\text{H}_2\text{O}}$  byl stanoven pro odolné textilní materiály na 60 cm / 1 min v souladu s touto normou. Měření vodního sloupce trvalo na zátěrových materiálech mezi 10–12 minutami. Měření na ostatních materiálech trvalo zhruba 40 minut. Všechny materiály byly porušeny prasknutím na jednom místě. K uvolňování jednotlivých kapek nedocházelo. Vždy se porušil zátěr nebo rubní pletenina se zátěrem. V tabulkách 4.6 a 4.7 je uveden tlak před porušením. Interval spolehlivosti přesných hodnot  $h_{\text{H}_2\text{O}}$  v grafech 4.7 a 4.8 je

Číslo měření	Výška vodního sloupce $h_{\text{H}_2\text{O}}$ [cm]								
	$\mathcal{A}$	$\mathcal{B}$	$\mathcal{C}$	$\mathcal{D}$	$\mathcal{E}$	$\mathcal{F}$	$\mathcal{G}$	$\mathcal{H}$	$\mathcal{I}$
1.	1259,6	1550,0	2077,0	2081,0	2387,4	1992,0	2010,0	382,1	879,9
2.	1276,8	1923,0	2250,0	2095,3	1895,0	2307,0	2212,0	670,0	806,9
3.	1246,0	2015,0	2289,0	2296,2	2339,0	2117,0	2040,0	592,5	994,0
<b>Statistické zpracování dat</b>									
$\mu_{h_{\text{H}_2\text{O}}}$	1260,8	1829,3	2205,3	2157,5	2207,1	2138,7	2087,3	548,2	893,6
$\sigma_{h_{\text{H}_2\text{O}}}$	15,4	246,2	112,8	120,3	271,4	158,6	109,0	149,0	94,3
$\pm\delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	26,0	415,1	190,2	202,9	457,5	267,4	183,8	251,2	159,0
$\pm\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	33,5	427,4	203,2	215,7	471,9	280,4	196,1	256,1	165,2
<b>Výsledné hodnoty po zaokrouhlení</b>									
$h_{\text{H}_2\text{O}}$	1261	1830	2210	2160	2200	2140	2090	550	890
$\pm\delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	26	500	190	210	500	270	190	260	160
$\pm\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	40	500	210	220	500	280	200	260	170

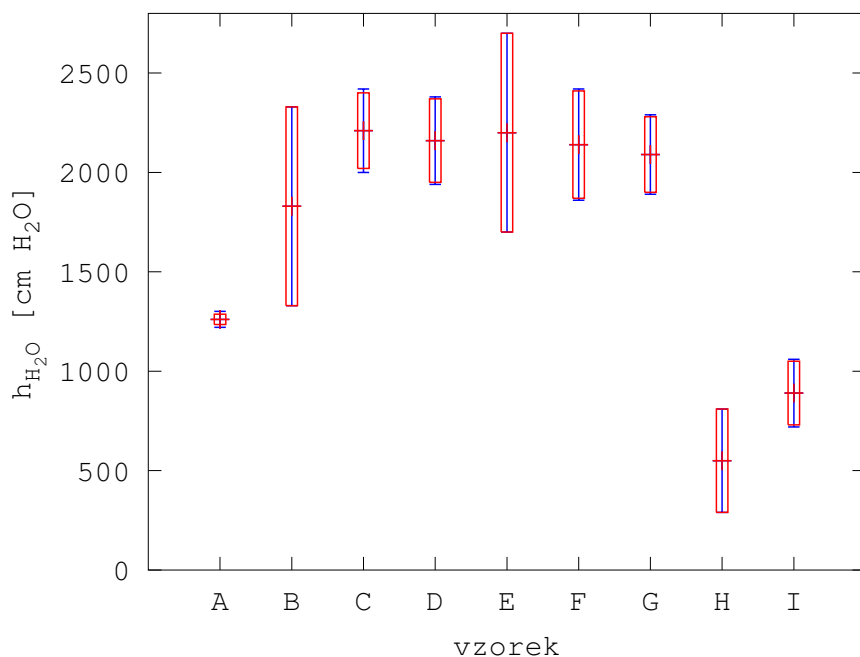
Tabulka 4.6: Naměřené hodnoty vodního sloupce  $h_{\text{H}_2\text{O}}$  (1. část).

Číslo měření	Výška vodního sloupce $h_{\text{H}_2\text{O}}$ [cm]								
	$\mathcal{J}$	$\mathcal{K}$	$\mathcal{L}$	$\mathcal{M}$	$\mathcal{N}$	$\mathcal{O}$	$\mathcal{P}$	$\mathcal{Q}$	$\mathcal{R}$
1.	749,4	534,0	741,1	928,0	788,0	790,0	848,0	789,0	710,0
2.	725,4	666,0	723,3	1098,0	937,0	774,0	793,0	824,0	733,0
3.	615,1	635,0	735,3	1080,0	861,0	641,0	835,0	926,0	795,0
<b>Statistické zpracování dat</b>									
$\mu_{h_{\text{H}_2\text{O}}}$	696,6	611,7	733,2	1035,3	862,0	735,0	825,3	846,3	746,0
$\sigma_{h_{\text{H}_2\text{O}}}$	71,6	69,0	9,1	93,4	74,5	81,8	28,7	71,2	44,0
$\pm\delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	120,7	116,4	15,3	157,4	125,6	137,9	48,5	120,0	74,1
$\pm\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	125,8	121,0	20,0	164,4	131,5	143,3	53,8	125,8	79,2
<b>Výsledné hodnoty po zaokrouhlení</b>									
$h_{\text{H}_2\text{O}}$	700	610	733	1040	860	740	830	850	750
$\pm\delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	130	120	15	160	130	140	50	120	80
$\pm\Delta h_{\text{H}_2\text{O}}$	130	130	20	170	140	150	60	130	80

Tabulka 4.7: Naměřené hodnoty vodního sloupce  $h_{\text{H}_2\text{O}}$  (2. část).

vyznačen modrou barvou, červenou barvou je vyznačen interval spolehlivosti naměřených dat  $h_{\text{H}_2\text{O}}$ . Studentův součinitel, se kterým byly určovány intervaly

spolehlivosti byl pro toto měření opět  $t_{0,9;3} = 2,92$  (pro 3 měření s 90% pravděpodobností). Již obě tabulky 4.6 a 4.7 i data z nich vynesené do grafů 4.7 a 4.8 ukazují, že měření na přístroji Hydrostatic head tester je velice přesné. Graf



Graf 4.7: Vyhodnocení naměřených hodnot výšky vodního sloupce (1. část).

4.9 ilustruje závislost mezi  $h_{H_2O}$  všech vzorků a jejich  $\rho_S$ , vyneseny jsou opět pro názornost pouze naměřené střední hodnoty bez intervalů spolehlivosti. Z grafu 4.9 jsou zřejmé 4 následující skupiny materiálů. Na první pohled se jedná o skupiny materiálů označených jako:

1.  $\mathcal{H}, \mathcal{I}, \mathcal{J}, \mathcal{K}, \mathcal{L}$
2.  $\mathcal{A}, \mathcal{M}, \mathcal{N}, \mathcal{O}, \mathcal{P}, \mathcal{Q}, \mathcal{R}$
3.  $\mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{E}, \mathcal{F}, \mathcal{G}$
4.  $\mathcal{B}$

První skupina představuje lehké materiály s relativně dobrou hydrostatickou odolností. Druhá skupina materiálů obsahuje materiály s podobnou výškou vodního sloupce jako první skupina materiálů. Materiály z druhé skupiny současně jsou však i dobře propustné pro vodní páry. Materiály ze třetí skupiny dosahují vynikající hydrostatické odolnosti, kde  $h_{H_2O} \approx 2000$  cm  $H_2O$ , vysoká hydrostatická odolnost těchto materiálů je však doprovázena nízkou propustností vodních



#### KAPITOLA 4. MĚŘENÍ VZORKŮ A VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

---

par. Poslední skupinu tvoří jediný materiál, který je špatně prodyšný pro vzduch a současně velice dobře hydrostaticky odolný.

## Závěr

Cílem této práce byl rozbor komfortních vlastností materiálů pro sportovní oděvy. Jednalo se především o prodyšnost, výparný odpor, propustnost vodních par a výšku vodního sloupce. Měření proběhla bez komplikací, každé měření bylo minimálně 3× pro jeden typ vzorku a bylo prováděno dle instrukcí, které byly podány při prvním měření.

Celkově lze měřené vzorky hodnotit pozitivně, především hodnoty výšky vodního sloupce jsou velmi dobré ve většině případů a silnější zátěži by měly odolávat. Nicméně paropropustnost neodpovídá rychlému odvodu par, a tak není příliš vhodné využití materiálů v podmínkách těžké fyzické zátěže.

Na základě provedených měření bych materiály  $\mathcal{H}, \mathcal{I}, \mathcal{J}, \mathcal{K}, \mathcal{L}$  zacílila na sportovní oblečení pro méně příznivé počasí pro jarní a podzimní sporty jako turistika, cyklistika a jiné pohybové aktivity. Materiály  $\mathcal{A}, \mathcal{M}, \mathcal{N}, \mathcal{O}, \mathcal{P}, \mathcal{Q}, \mathcal{R}$  bych kvůli relativně dobré hydrostatické odolnosti a nejlepší hodnoty propustnosti vodních par ze všech měřených vzorků primárně zacílila na oblečení pro zimní sporty jako běh na lyžích, případně na běh do studeného počasí. Materiály  $\mathcal{B}, \mathcal{C}, \mathcal{D}, \mathcal{E}, \mathcal{F}, \mathcal{G}$  bych pro velice vysokou hydrostatickou odolnost a nízkou propustnost vodních par zacílila zejména na oblečení pro zimní sporty jako sjezdové lyžování, případně pro obsluhu vleků nebo jiný personál, který v zimním období stojí venku, případně jiné aktivity, kdy by nízká propustnost vodních par nečinila nositeli potíže.

Souhrně lze konstatovat, že práce způsobem odpovídajícím svému rozsahu přináší ucelený pohled na komfortní vlastnosti textilií, jejich měření dle norem a neopomíjí ani zahrnutí nejistot měření. Interval spolehlivosti u některých měření se zdají být příliš pesimistické. Tento fakt je zapříčiněn nedostatečným počtem měření pro daný vzorek, což bylo způsobeno omezeným počtem vzorků jednoho materiálu a také uvažovaným nejnepříznivějším možným kumulováním nejistot v měřících přístrojích. Veškeré intervaly spolehlivosti jsou dle dohody korigovány pomocí 90% Studentových součinitelů. Práce si neklade za cíl konkurovat rozsáhlým zprávám o měření, jen ukazuje způsob jakým měřit, pracovat s naměřenými daty a v neposlední řadě také potvrzuje známý fakt, že pro měření

s úzkým intervalem spolehlivosti je nutné mít velký počet vzorků jednoho typu materiálu.

# Literatura

- [1] MORTON, WILLIAM ERNEST, HEARLE, JOHN W.S. : *Physical properties of textile fibres*. Cambridge: Woodhead Publishing in textiles, CRC Press, The Textile Institute, 2008. ISBN 978-1-84569-220-9.
- [2] SHISHOO, ROSHAN: *Textiles in sport. 1.vyd.* Cambridge: Woodhead publishing Limited, 2005. ISBN 978-1-85573-922-2.
- [3] HES, LUBOŠ; SLUKA, PETR.: *Úvod do komfortu textilií*. Skripta. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2005. ISBN 80-7083-926-0.
- [4] RŮŽIČKOVÁ, DAGMAR.: *Oděvní materiály*. Skripta. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2003. 221 s. ISBN 80-7083-682-2.
- [5] ČSN EN 20811 (800818): *Textilie. Stanovení odolnosti proti pronikání vody*. Zkouška tlakem vody Praha : Český normalizační institut, 1994. 16s.
- [6] MACHONSKÝ, LUBOR, BURIANOVÁ, LIDMILA, ČMELÍK, MILAN.: *Fyzikální Laboratoře* Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2004. ISBN 80-7083-796-9.
- [7] HAVELKA, ANTONÍN.: *Co dokáže textil II. Klastř technické textilie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-303-3.
- [8] NASADIL, PETR: *Co dokáže textil II. Klastř technické textilie*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2008. ISBN 978-80-7372-303-3.
- [9] HIGHPOINT [ONLINE]: [cit. 2012-18-2]. Dostupné z: <http://www.highpoint.cz/clanky/nepromokavost.html>
- [10] CESTY DO PŘÍRODY [ONLINE]: [cit. 2012-22-2]. Dostupné z: <http://www.cestydoprirody.cz/clanky/13-co-to-je-vodni-sloupec-a-nepromokavost>
- [11] SCHEVEGMBH [ONLINE]: [cit. 2012-15-2]. Dostupné z: <http://www.schevegmbh.de/produktseiten/3300.html>

- [12] KOUŘILOVÁ, PAVLA: *Funkční materiály a jejich vliv na tepelný komfort sportovce*: Diplomová práce. MASARYKOVA UNIVERZITA, 28.4.2011.
- [13] VALENTOVÁ, KATEŘINA: *KOMFORTNÍ VLASTNOSTI SPORTOVNÍHO OBLEČENÍ*: Bakalářská práce. Technická univerzita Liberec, 26.4.2010.
- [14] SDLATLAS [ONLINE].: cit. 2012-22-2]. Dostupné z: <http://www.sdlatlas.com/product/55/Hydrostatic-Head-Tester>
- [15] SDLATLAS MANUAL [ONLINE].: [cit. 2012-22-2]. Dostupné z: [http://www.sdlatlas.com/media/manuals/eng\\_M018.pdf](http://www.sdlatlas.com/media/manuals/eng_M018.pdf)
- [16] FX3300 MANUAL [ONLINE].: [cit. 2012-22-2]. Dostupné z: [http://www.textest.ch/pdf-files\\_en/3300-IV\\_leaflet\\_en.pdf](http://www.textest.ch/pdf-files_en/3300-IV_leaflet_en.pdf)
- [17] PERMETEST MANUAL [ONLINE].: [cit. 2012-22-2]. Dostupné z: <http://www.scribd.com/doc/60715185/Per-Me-Test-Manual-09>